

CHAPITRE IV

MÉTHODES ET DISPOSITIFS POUR LA COLLECTE ET LE TRANSPORT DES BOUES DE VIDANGE

Georges Mikhael, David M. Robbins, James E. Ramsay et Mbaye Mbéguéré

Objectifs pédagogiques

- Comprendre les aspects sociaux, les procédures et les techniques en jeu dans la collecte et le transport des boues de vidange issues des dispositifs d'assainissement à la parcelle et leur importance.
- Savoir quels types d'équipements peuvent être employés pour les différents dispositifs d'assainissement utilisés par les ménages.
- Connaître les enjeux et les paramètres à prendre en compte pour le transport des boues de vidange vers un site de traitement ou une station de transfert.
- Savoir ce qu'est une station de transfert des boues de vidange, comment ces stations sont exploitées et comment choisir leur emplacement.
- Connaître les aspects sanitaires et sécuritaires liés à la collecte et au transport des boues de vidange.

4.1 INTRODUCTION

Ce chapitre présente les bonnes pratiques pour la collecte et le transport des boues de vidange pouvant être employées par une gamme de prestataires de services, allant du petit entrepreneur qui utilise une charrette tractée par une bicyclette, aux grandes entreprises des zones urbaines denses disposant de plusieurs camions (parfois des centaines). Une grande variété de techniques existe, des méthodes de vidange manuelle les plus basiques à celles employées par les camions de vidange les plus sophistiqués. Souvent, compte tenu de la grande diversité des dispositifs d'assainissement utilisés par les ménages, des contextes économiques et des conditions d'accès, différents types de prestataires peuvent opérer simultanément sur la même zone géographique et, parfois même, au sein de la même entreprise.

Les personnes et les entreprises qui collectent et transportent les boues de vidange issues des dispositifs d'assainissement des ménages (fosses septiques et latrines traditionnelles) assurent un service essentiel pour les riverains, les quartiers et les villes (figure 4.1). Ils constituent un maillon critique de la chaîne de services qui rend l'accès à l'assainissement possible. Sans ces services de collecte et de transport pour évacuer les boues, les dispositifs d'assainissement à la parcelle ne fonctionneraient pas correctement. Le présent chapitre est consacré aux procédures et aux aspects techniques relatifs à la collecte des boues issues des dispositifs d'assainissement des ménages, à leur transport vers un site de traitement et à la manière dont les vidangeurs accomplissent ces tâches.

L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les caractéristiques d'un bon service de vidange, sans risque et professionnel. Pour être efficaces, les prestataires de vidange doivent

employer un personnel formé, des équipements fonctionnels et des procédures permettant de réaliser les opérations en toute sécurité et avec un impact minimal sur l'environnement. Il est important que les autorités en charge de l'assainissement encouragent la formation et la certification des employés ainsi que l'agrément des véhicules de collecte des boues. Ces activités doivent être adaptées au contexte local où les services sont fournis, tout en gardant ces objectifs généraux à l'esprit.

4.2 TÂCHES ET RESPONSABILITÉS

Les tâches et les responsabilités habituelles des services de vidange intègrent la préparation de la vidange, la vidange proprement dite et le transport des boues vers une station de traitement. Comme expliqué au chapitre 12, les opérateurs de vidange peuvent être des entrepreneurs individuels, des entreprises de tailles diverses ou encore une municipalité.

Les opérations de vidange englobent un certain nombre de tâches à effectuer.

Idéalement, la réalisation d'un bon service de vidange demande :

- De discuter avec les clients avant d'extraire les boues, afin de convenir de la logistique et d'informer ces derniers du déroulement de l'opération ;
- D'indiquer un tarif standard ou un prix négocié, selon son modèle commercial ;
- De repérer les ouvrages à vidanger ;
- D'ouvrir le dispositif pour faciliter sa vidange ;
- De collecter les boues de vidange ;
- D'évaluer l'état de l'ouvrage après la vidange ;
- De refermer et de sécuriser l'ouvrage une fois l'extraction des boues achevée ;
- De nettoyer une fois les opérations terminées ;
- De réaliser une inspection finale à l'issue de l'opération et de reporter au client tout dysfonctionnement de son dispositif.

Ce paragraphe développe certaines de ces activités à conduire, dans l'idéal, avant toute opération de vidange. La collecte et le transport des boues seront exposés plus en détail dans les paragraphes suivants.



Figure 4.1 : Vidange d'une fosse septique à l'aide d'un équipement d'aspiration sous vide. La sécurité des opérations serait meilleure avec des équipements de protection mieux adaptés (photo : David M. Robbins).

4.2.1 Interaction avec les clients

Le vidangeur est souvent la seule personne avec laquelle les ménages vont pouvoir discuter à propos de leur ouvrage d'assainissement. Ainsi, le vidangeur a la responsabilité de réaliser convenablement les opérations de vidange proprement dites, mais aussi de bien connaître les dispositifs d'assainissement et de pouvoir expliquer pourquoi la vidange est nécessaire et bénéfique pour le client et son voisinage. L'opérateur est aussi la seule personne qui pourra examiner le dispositif lorsqu'il est plein et lorsqu'il est vide. Aussi devrait-il mettre cette opportunité à profit pour évaluer si le système fonctionne correctement, identifier les réparations nécessaires et vérifier tous les aspects garants d'un fonctionnement normal, pour une durée de vie optimale. Il est aussi en mesure de dépanner et de donner des informations utiles à propos de la gestion des boues de vidange dans le quartier où il intervient. Ce positionnement fait des opérateurs des relais importants des administrations locales pour diffuser l'information, à travers des brochures, sur la bonne façon d'entretenir les fosses septiques ou pour donner des conseils afin d'optimiser les latrines non-améliorées en vue d'un meilleur niveau de service.



Figure 4.2 : Exemple d'une opération de vidange à Dakar, Sénégal. La fosse est située dans une cour intérieure dont l'accès requiert la concertation entre les résidents (photo : Linda Strande).

Étude de cas 4.1 : L'interaction avec le client dans la ville de Marikina, Philippines.

La ville de Marikina aux Philippines a développé l'interaction avec les clients. En collaboration avec le service public de l'eau, la ville a mis en place un calendrier des vidanges, quartier par quartier, sur la base d'une périodicité des vidanges tous les 5 ans. Pour ce faire, ils s'associent avec le secteur privé de la manière suivante :

- Quelques jours avant, les prestataires se rendent dans les quartiers, ils envoient un camion équipé de haut-parleurs pour informer les résidents de la venue prochaine du service ;
- Le jour qui précède la vidange, les agents municipaux visitent les domiciles et distribuent des brochures d'information ;
- Ces agents identifient les maisons qui nécessitent une assistance pour ouvrir leur fosse septique et leur fournissent une liste de personnes pouvant leur rendre ce service à moindre coût ;
- Le jour de la vidange, ces agents sont présents pour répondre aux questions, contrôler la circulation et résoudre les différents problèmes qui se posent.

Grâce à ce dispositif, la réglementation locale est respectée à 95 %.

Les vidangeurs se concertent avec les ménages pour localiser l'emplacement des ouvrages à vidanger, pour repérer les orifices et les regards d'accès (s'il y en a), pour déterminer où placer le matériel de vidange et pour répondre à toutes autres questions pertinentes. Souvent, les dispositifs d'assainissement sont directement situés sous la cuisine ou la salle de bain, ce qui oblige à pénétrer dans la maison avec le matériel de vidange. Ainsi, la collaboration et la communication avec les résidents sont essentielles et rendent le processus de vidange plus efficace. Un exemple est illustré par la figure 4.2 avec un vidangeur qui doit entrer dans une cour intérieure pour accéder au système à vidanger.

Les règles générales que les vidangeurs doivent suivre lorsqu'ils interagissent avec les ménages sont les suivantes :

- Rester courtois et toujours demander une autorisation formelle avant de réaliser le service ;
- Répondre au mieux aux questions posées en se référant aux autorités locales autant que nécessaire ;
- Être soigneux lors de l'amenée des tuyaux et autres équipements dans les maisons et veiller à protéger les sols, les murs et les meubles de tout dommage ;
- Communiquer les observations faites aux résidents (de préférence par un récapitulatif écrit du service délivré et des problèmes relevés) ;
- Assurer la propreté pendant et après les opérations.

4.2.2 Repérage du système à vidanger

L'emplacement de l'ouvrage d'assainissement à vidanger est souvent difficile à repérer. Les fosses septiques sont généralement enterrées et leur emplacement est inconnu. Lorsque les latrines sont regroupées, il n'est pas toujours évident de savoir pour laquelle le service a été mobilisé.

Entre autres, les méthodes suivantes permettent de repérer l'emplacement des fosses à vidanger :

- Demander au client où se situe la fosse ;
- Si le client ne sait pas, chercher des indices concrets tels que des regards, des couvercles de fosse ou des dalles en béton apparentes, comme illustré dans la figure 4.3 ;
- Repérer des regards de nettoyage situés à l'extérieur ou sous le bâtiment. L'orientation du regard peut indiquer l'emplacement de la fosse ;
- Marteler doucement le sol à l'aide d'une sonde métallique (ex. : un fer rond d'un centimètre de diamètre) afin d'identifier les zones où le sol est plein et celles où se trouve un ouvrage creux ;
- Observer les dépressions dans la cour, autour de la maison, qui peuvent correspondre à la présence d'une fosse enfouie dans le sol ;
- Si la maison est construite sur poteaux, regarder en dessous pour inspecter la plomberie et déterminer si les conduites d'égout où les événements sont enfouis (décaper le sol autour de ces tuyaux doit permettre de trouver l'emplacement de la fosse) ;
- Si la maison est construite sur une dalle en béton, frapper doucement le sol à l'aide d'une barre de fer pour repérer l'endroit où la dalle sonne creux.



Figure 4.3 : Exemple de regard de visite d'une fosse septique conçue pour permettre un accès rapide, Vung Tau Province, Vietnam (photo : Linda Strande).

4.2.3 Déterminer l'accessibilité

Déterminer l'accessibilité des fosses septiques ou simples requiert d'accéder au site lui-même, puis d'évaluer si chaque compartiment de l'ouvrage est accessible au service de vidange. Voici quelques paramètres typiques déterminant l'accessibilité d'un site :

Largeur de la route

Dans le cas d'une vidange par camion, les routes doivent être suffisamment larges pour permettre le passage du camion ou de l'équipement de vidange.

Accès au site

- Est-il nécessaire de passer par la propriété du voisinage pour atteindre l'ouvrage à vidanger ?
- Y a-t-il des contraintes d'accès liées au climat, telles que des ruisseaux à traverser ou des routes impraticables durant les fortes pluies ?

Localisation du site

- Lors d'une vidange par camion ou par charrette, l'ouvrage est-il situé suffisamment près de la zone de stationnement du véhicule ?
- L'emplacement du client est-il suffisamment proche d'une station de traitement des boues de vidange pour assurer le transport ?

Les questions suivantes peuvent être utilisées par le prestataire comme une *check-list* pour l'aider à déterminer si le système est accessible pour la vidange :

- L'ouvrage peut-il être ouvert pour permettre l'introduction des équipements de vidange (ex. : tuyaux) ?
- Y a-t-il des regards de visite pouvant être ouverts sur chaque compartiment ?
- De nouveaux orifices d'accès devront-ils être aménagés ? Si oui, les résidents ont-ils donné leur accord pour ce service ?

- Les dalles, les sols ou les couvercles de la fosse septique vont-ils devoir être reconstruits après la vidange ?
- La fosse risque-t-elle de s'effondrer si elle est vidangée ?

4.2.4 Outils de travail

Plusieurs outils, convenablement utilisés et entretenus, sont nécessaires pour réaliser correctement les opérations de vidange. La figure 4.4 illustre un cas où la maintenance est négligée. En pratique, le choix des équipements à utiliser dépend de la technique de vidange employée et du matériel disponible sur le marché local.

Parmi les outils constamment utilisés, on peut citer :

- Pelles, pieds-de-biche et barres à mine utilisés pour repérer les fosses et les regards de visite ;
- Tournevis et autres outils manuels utilisés pour ouvrir les différents regards et couvercles ;
- Pelles à manche allongé et seaux utilisés pour racler les solides qui ne peuvent être extraits autrement ;
- Crochets pour retirer les déchets solides non-biodégradables (sachets, textiles...) ;
- Tuyaux pour le pompage des boues ainsi que pour l'ajout d'eau dans les fosses le cas échéant ;
- Équipements de sécurité :
 - Cales pour bloquer les roues du véhicule lorsque celui-ci est à l'arrêt ;
 - Équipements de protection individuelle tels que des casques de chantier, des visières ou des lunettes de protection, des bottes et des gants ;
 - Désinfectants, barrières, matériaux absorbants et sacs pour le nettoyage et l'évacuation des déversements éventuels.

Il est essentiel que les employés des entreprises de vidange maintiennent leurs outils et équipements dans un bon état de fonctionnement et qu'ils signalent les réparations qui s'imposent à leurs superviseurs.



Figure 4.4 : Les tuyaux et accouplements doivent être régulièrement contrôlés et changés. Sur cette photographie, des boues fuient car la connexion n'est plus étanche (photo : David M. Robbins).

4.3 PROPRIÉTÉS DES BOUES POUR LA COLLECTE ET LE TRANSPORT

Les boues de vidange peuvent être extraites des fosses uniques ou septiques par des techniques manuelles ou mécanisées, en utilisant de simples outils, des camions de vidange, des pompes ou des tarières motorisées. En pratique, la méthode employée dépendra du type de dispositif à vidanger, des contraintes d'accès au site ainsi que du matériel et de l'expertise technique dont dispose le vidangeur.

Il est important de préciser quelles sont les propriétés des boues de vidange, pour bien comprendre les défis que représentent leur collecte et leur transport. Ces propriétés sont principalement liées à la teneur en eau des boues, à leur âge, à la présence d'éléments non-biodégradables et à leur teneur en matières organiques. Dans une latrine à fosse unique par exemple, les boues les plus récentes, déposées sur la partie haute du volume stocké, présentent des teneurs en eau et en matières organiques supérieures à celles des boues accumulées au fond de la fosse et ont, par conséquent, une densité moindre (Buckley *et al.*, 2008). La fraction supérieure est ainsi moins visqueuse et plus facile à extraire. L'absence d'eau et de matière organique dans la couche plus profonde, plus ancienne, souvent qualifiée « d'épaisse » rend l'extraction des boues plus complexe. En fonction des techniques d'extraction, les boues épaisses doivent souvent être mélangées à de l'eau pour faciliter leur pompage. Il en résulte que la période d'accumulation des boues constitue un indicateur de la facilité avec laquelle les boues de vidange peuvent être extraites. Les caractéristiques des boues de vidange sont exposées plus en détail dans le chapitre 2.

4.4 MÉTHODES MANUELLES DE COLLECTE DES BOUES

Les vidangeurs manuels viennent généralement des communautés défavorisées installées dans les quartiers informels. La population utilise souvent des termes péjoratifs pour les désigner, comme : « charognards », *vyura* (« homme grenouille » en Swahili), *baye pelle* (« les piocheurs ») ou *kaka bailers* (« les puiseurs d'excréments »). Dans certaines régions, ils appartiennent à des groupes marginalisés, tels que les *Dalit* (« intouchables ») en Asie du Sud. Au-delà des préjugés sociaux qu'ils subissent, les vidangeurs manuels sont souvent stigmatisés au sein même de leur famille et de leur communauté du fait de leur travail.

On distingue deux méthodes pour la collecte manuelle des boues, à savoir « le ramassage de fûts amovibles » et « l'extraction directe ». Ces deux méthodes peuvent être appliquées sans risque si les vidangeurs utilisent des équipements de protection adaptés et suivent des protocoles sécurisés. En revanche, certaines pratiques sont à haut risque, comme le fait de descendre dans les fosses ainsi que le font les vidangeurs manuels de certains pays subsahariens ou d'Asie du Sud. Les boues doivent être systématiquement déversées dans des stations de transfert ou des sites de traitement et non pas dans la nature, de manière incontrôlée.

Dans certains pays, comme le Ghana ou le Bangladesh, les autorités nationales et locales commencent à prendre conscience des pratiques insalubres des vidangeurs manuels et adoptent des mesures pour les interdire. En outre, les autorités locales peuvent faciliter la promotion des services de vidange hygiénique en mettant en avant les bonnes pratiques, en imposant des restrictions aux pratiques à risques, en proposant aux vidangeurs des formations, des services de renforcement de capacités, ou encore via l'octroi d'autorisations. La formalisation des vidangeurs manuels fera évoluer la demande vers des services de vidange améliorés plus hygiéniques et permettra aussi le développement d'entreprises et la création d'emplois.

4.4.1 Dispositifs d'assainissement à fûts amovibles

Un exemple de ce type de dispositif est l'« Uniloo » (figure 4.5), technologie innovante conçue pour permettre une collecte manuelle hygiénique des boues. Il s'agit de toilettes à diversion d'urine modulaires et mobiles, équipées d'un fût amovible muni d'un couvercle hermétique (IDEO, 2012). D'une capacité de 20 litres environ, l'« Uniloo » protège les ménages et les vidangeurs de tout contact direct avec les boues. Régulièrement, les vidangeurs viennent remplacer les fûts pleins par des fûts propres. Les fûts pleins sont transportés par des moyens locaux et vidés au niveau des stations de transfert ou de traitement par un personnel doté d'équipements de protection adaptés.



Figure 4.5 : Les toilettes portatives « Uniloo » développées par Unilever, Water and Sanitation for the Urban Poor (WSUP) et IDEO au Ghana (photo : Nyani Quarmyne).

4.4.2 Extraction directe

L'extraction directe des boues de vidange de fosses septiques ou fosses simples est réalisée à l'aide de seaux et de pelles fixées à de longs manches rigides. Une fois remplis, les seaux sont hissés à la surface, vidés dans des cuves montées sur chariots, lesquels sont ensuite acheminés vers les stations de transfert ou de traitement.

4.5 VIDANGE MANUELLE MÉCANISÉE

Les méthodes de vidange manuelle mécanisée permettent de vidanger les fosses septiques et les latrines de manière plus rapide, sécurisée et efficace. Ce paragraphe présente quatre équipements de pompage parmi les types de modèles les plus couramment développés et testés, à savoir : la pompe Gulper, la pompe à diaphragme, le Nibbler et le MAPET (*Manual Pit Emptying Technology*, « technologie manuelle de vidange de fosse »).

4.5.1 La pompe Gulper

Schématisée sur la figure 4.6, la pompe Gulper a été développée en 2007 par l'École d'hygiène et de médecine tropicale de Londres (LSHTM). C'est une pompe manuelle à déplacement positif à faible coût, dont le fonctionnement est identique à celui des pompes à eau à action directe.

D'une conception très simple, la pompe Gulper peut être produite en recourant à des matériaux et à une technicité généralement disponible dans les pays à revenu faible. La pompe se compose d'un tuyau PVC contenant deux clapets anti-retour en acier inoxydable. Le clapet « de pied » est fixé à la base du tuyau, tandis que le clapet « piston » est fixé à l'extrémité d'une tige actionnée par une poignée. Au fur et à mesure que la poignée est actionnée, les clapets s'ouvrent et se ferment successivement et les boues sont hissées dans le tuyau vertical jusqu'au bec de sortie de la pompe, orienté vers le bas. Une crépine est placée à la base du tuyau PVC, pour empêcher l'entrée de déchets solides qui risqueraient de bloquer le mécanisme de la pompe.

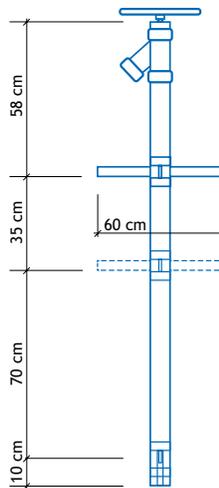


Figure 4.6 : Schéma de la pompe Gulper (Tilley et al., 2014).

Depuis ses premières versions, la pompe Gulper a fait l'objet de plusieurs modifications visant à la rendre plus maniable et mieux adaptée aux conditions locales. Ces modifications ont consisté, entre autres, à l'ajout d'un levier sur la poignée afin de faciliter le pompage ou la mise en place d'un tuyau télescopique pour pouvoir vidanger des fosses à différentes profondeurs. D'autres modèles de pompe reposant sur les mêmes principes ont été développées, telles que la « *poor pump* » ou la pompe manuelle de vidange (*Manual Desludging Hand Pump*, MDHP).

La pompe Gulper fonctionne bien avec les boues peu visqueuses et peut atteindre des débits de l'ordre de 30 litres/min. La hauteur de refoulement est fixée par la configuration de la pompe.

Selon la conception et les matériaux utilisés, le coût d'investissement de la pompe Gulper varie entre 40 et 1 400 USD (Boot, 2007 ; Godfrey, 2012 ; Still et Foxon, 2012).

Les problèmes suivants ont été relevés par les développeurs et les utilisateurs de la pompe :

- Difficultés pour l'installation et l'utilisation dans les toilettes présentant une superstructure de faibles dimensions (Godfrey, 2012) ;
- Blocages de la pompe par des débris non-biodégradables présents dans les boues ;
- Fissurations du tuyau PVC à long terme ;
- Éclaboussures de boues lors des opérations (Godfrey, 2012).

De toutes les pompes manuelles de vidange présentées dans ce paragraphe, la pompe Gulper est celle qui a été utilisée par le plus grand nombre de vidangeurs en Afrique et en Asie. Cependant, l'adoption ou la production de cette pompe par les vidangeurs n'ont été rapportées que dans le cadre d'interventions appuyées par des organisations extérieures (ex. : financement, formation, appui technique).

4.5.2 La pompe manuelle à diaphragme

Illustrées à la figure 4.7, les pompes manuelles à diaphragme sont des dispositifs simples et à moindre coût, capables d'extraire des boues de faible viscosité contenant peu de débris non-biodégradables. Elles se composent généralement d'un corps de pompe circulaire rigide, sur lequel une membrane souple en caoutchouc, appelée « diaphragme », vient se fixer. La cavité formée entre le diaphragme et le corps de pompe est fermée par un joint étanche. Lors du pompage, le diaphragme est comprimé puis étiré, alternant ainsi des formes concaves et convexes à la manière d'une ventouse utilisée pour déboucher les toilettes. Un filtre et un clapet anti-retour fixés à l'extrémité du tuyau d'aspiration permettent, respectivement, d'empêcher l'entrée de débris solides de gros diamètre et d'éviter le refoulement des boues vers la fosse pendant le pompage.



Figure 4.7 : Pompe manuelle à diaphragme en cours d'utilisation au Bangladesh (photo : Georges Mikhael).

Bien qu'elles puissent être portées par une ou deux personnes, ces pompes sont parfois montées sur des roulettes afin de faciliter leur transport. En fonction du modèle, le coût d'achat d'une pompe varie entre 300 et 850 USD.

L'utilisation de ce type de pompe rencontre les problèmes suivants :

- Obstruction lors du pompage de boues contenant des débris solides non-organiques ;
- Difficultés à maintenir l'étanchéité des raccords, avec des entrées d'air réduisant l'efficacité du pompage ;
- Fissurations du diaphragme en caoutchouc (Muller et Rijnsburger, 1992) ;
- Difficultés pour l'approvisionnement ou la production locale des pompes et de leurs pièces détachées.

4.5.3 Le Nibbler

Le Nibbler a été développée par l'École d'hygiène et de médecine tropicale de Londres (LSHTM) à la même période que la pompe Gulper. C'est une pompe à mouvement rotatif qui permet d'extraire les boues de viscosité moyenne grâce à une chaîne à rouleaux, tournant en boucle dans un tuyau PVC. Ce tuyau peut être introduit dans le regard d'accès d'une fosse ou le trou de défécation d'une latrine sans endommager la structure.

La chaîne est entraînée par la rotation manuelle d'une double manivelle et d'un pignon, placés à l'extrémité du tuyau. Fixés de manière lâche sur la chaîne, des demi-disques métalliques placés à intervalles réguliers entraînent les déchets depuis le fond de la fosse jusqu'à la surface. À l'extrémité supérieure, les boues sont raclées au niveau d'un connecteur en forme de Y qui dirige celles-ci vers le récipient de transport des boues. Une plaque verticale délimite les deux compartiments entre lesquels la chaîne tourne. En raison de résultats mitigés à l'issue de la phase d'essai, le développement du Nibbler a été suspendu.

4.5.4 Le système MAPET

En 1992, l'organisation non-gouvernementale WASTE a développé en Tanzanie un système manuel de vidange sous vide appelé « MAPET », acronyme anglais pour « technologie manuelle de vidange de fosse ». Conçu pour extraire et transférer les boues de vidange sur une courte distance, le MAPET a été la première, mais aussi la plus sophistiquée, de toutes les technologies présentées dans ce chapitre. Le système comporte deux éléments : une pompe et un réservoir sous vide de 200 litres, chacun étant monté sur son propre chariot.

Techniquement, les tests ont conclu au bon fonctionnement du MAPET ainsi qu'à sa capacité à pomper des boues à 3 mètres de profondeur avec un débit de 10 à 40 L/min selon la profondeur et la viscosité des boues (Brikké et Bredero, 2003). Les tests ont aussi conclu que le MAPET avait permis à WASTE de résoudre la plupart des problématiques techniques ciblées lors de sa conception. Cependant, seul l'un des huit MAPET introduits en Tanzanie était encore opérationnel 8 ans après, et plus aucun ne fonctionnait après 13 ans (BPD, 2005). On relève, parmi les raisons à l'origine de ce manque de durabilité :

- Un arrêt de l'appui structurel auquel les vidangeurs utilisant le MAPET étaient très dépendants ;
- Une dépendance à l'importation d'un élément clef (un segment de piston en cuir) qui n'était pas disponible sur le marché local ;
- L'incapacité des vidangeurs utilisant le MAPET à couvrir les charges de maintenance et de transport à l'aide de leurs revenus issus des vidanges (WASTE Consultants, 1993).

4.5.5 Comparatif des différents équipements

Le tableau 4.1 reprend les caractéristiques des 4 équipements de vidange manuelle mécanisée présentés dans ce paragraphe.

Tableau 4.1 : Tableau récapitulatif des équipements de vidange manuelle mécanisée.

TYPE D'ÉQUIPEMENT	PERFORMANCES	COÛT INITIAL / COÛT DE FONCTIONNEMENT (USD)	DÉFIS
Pompe Gulper	<ul style="list-style-type: none"> Adaptée pour le pompage des boues de faible viscosité. Débit moyen de 30 L/min. La hauteur de refoulement dépend de la configuration de la pompe. 	<ul style="list-style-type: none"> Coût initial : 40 à 1 400 (selon la conception). Coût de fonctionnement : inconnu. 	<ul style="list-style-type: none"> Accès difficile aux toilettes munies d'une superstructure de petite taille. Blocage si les boues contiennent beaucoup de débris non-biodégradables. Le PVC utilisé pour le corps de pompe tend à se fissurer. Éclaboussures de boues entre le goulot de la pompe et le récipient de collecte des boues.
Pompe à diaphragme manuelle	<ul style="list-style-type: none"> Adaptée pour le pompage des boues de faible viscosité. Débit maximum de 100 L/min. Hauteur de refoulement maximale de 3,5 m à 4,5 m. 	<ul style="list-style-type: none"> Coût initial : 300 à 850 (en fonction du fabricant et du modèle). Coût de fonctionnement : inconnu. 	<ul style="list-style-type: none"> Blocage si les boues contiennent beaucoup de débris non-biodégradables. Problèmes d'étanchéité des raccords à l'entrée de la pompe entraînant des arrivées d'air. Pompes et pièces détachées non-disponibles à l'heure actuelle.
Nibbler	<ul style="list-style-type: none"> Potentiellement adaptée pour le pompage de boues de viscosité intermédiaire. 	<ul style="list-style-type: none"> Coût initial : inconnu. Coût de fonctionnement : inconnu. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>A priori</i> inadapté pour les boues sèches à forte teneur en débris non-biodégradables.
MAPET	<ul style="list-style-type: none"> Débit maximum compris entre 10 et 40 L/min selon la viscosité des boues et la hauteur de refoulement. Hauteur de refoulement maximale de 3 mètres. 	<ul style="list-style-type: none"> Coût initial : 3 000 (1992). Coût de fonctionnement : 175 par an (maintenance seulement - 1992). 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessite un fort appui structurel des vidangeurs. Le dispositif repose sur une pièce essentielle qui doit être importée. Incapacité des vidangeurs à couvrir les charges de maintenance et de transport par leurs seuls revenus.

4.6 ÉQUIPEMENTS DE VIDANGE MOTORISÉS

Les technologies de vidange motorisées sont entraînées par des systèmes électriques, thermiques ou encore pneumatiques. Elles sont parfois montées sur chariot ou châssis, pour plus de mobilité, ou directement sur des véhicules motorisés lorsqu'il s'agit de vider et de transporter d'importantes quantités de boues sur de longues distances. Ce paragraphe présente une gamme de technologies motorisées. Il comprend des équipements largement répandus, tels que les motopompes à membrane, les motopompes centrifuges à eaux chargées et certains véhicules équipés de pompes à vide. Il présente également des équipements en cours de développement, comme la tarière à boues motorisée, ou des équipements dont le développement a été suspendu, comme le Gobbler.

4.6.1 Motopompe à membrane

Les motopompes à membrane fonctionnent selon le même principe que les pompes à diaphragme manuelles. De nombreuses marques et modèles existent, adaptés à diverses utilisations, dont le pompage des boues. Bien qu'elles puissent être alimentées hydrauliquement, électriquement ou par air comprimé, le modèle thermique est le plus utilisé pour les opérations de vidange. Les motopompes à membranes sont généralement montées sur châssis et portées soit à la main, soit à l'aide d'un chariot.

La performance des modèles thermiques est fonction de la taille et du modèle de la motopompe. Elles sont généralement conçues pour le pompage de boues liquides mais peuvent aussi admettre des débris solides (MSF, 2010). En général, une pompe de 3 pouces de diamètre (76,2 mm) peut pomper des débris solides présentant une taille comprise entre 40 et 60 mm, avec un débit maximum de 300 à 330 L/min, et une hauteur de refoulement maximum de 15 mètres.

Les motopompes à membrane ont été utilisées en Afrique du Sud pour la vidange de latrines à fosse unique ventilée améliorée (VIP), mais la présence de débris non-biodégradables de gros diamètres entraînait des blocages fréquents (O'Riordan, 2009). L'absence de pièces détachées sur le marché local est aussi une contrainte pour l'utilisation de cet équipement dans les pays à revenu faible.

Le coût initial d'une motopompe à membrane est de l'ordre de 2 000 USD.

4.6.2 Motopompe pour eaux chargées

Les motopompes pour eaux chargées sont identiques aux motopompes à eau centrifuges, à certaines caractéristiques techniques près. La turbine des motopompes pour eaux chargées présente généralement moins de lames et ces dernières sont parfois affûtées afin de pouvoir broyer les particules solides contenues dans le fluide pompé. Par ailleurs, le logement des turbines est généralement plus simple et plus facile à ouvrir, afin de permettre un déblocage rapide si nécessaire (MSF, 2010).

Les motopompes à eaux chargées sont adaptées au pompage des boues présentant une consistance très liquide. À l'instar des motopompes à membrane, la performance de ces pompes dépend de la taille et du modèle. Les modèles de 3 pouces peuvent généralement pomper des particules solides de 20 à 30 mm, avec un débit maximal d'environ 1 200 L/min, et une hauteur de refoulement maximale de 25 à 30 mètres. Le prix d'achat approximatif d'une motopompe à eaux chargées de 3 pouces est de 1 800 USD.

4.6.3 Tarière à boues motorisée

Les tarières à boues sont des vis d'Archimède, utilisées pour la vidange des latrines. Les tests conduits avec des tarières manuelles ont montré que ces dernières étaient trop lentes pour permettre un travail efficace (Still et O'Riordan, 2012). Des tarières motorisées sont actuellement en cours de développement avec des prototypes inspirés des tarières de forage. Elles se composent d'une vis sans fin, placée à l'intérieur d'un tuyau vertical en plastique, dont elle dépasse la base de 5 à 15 cm environ. Fixé à l'autre extrémité du tuyau, un moteur électrique actionne la vis sans fin (figure 4.8).



Figure 4.8 : Tarière à boues motorisée en Afrique du Sud (photo : David M. Robbins).

Lors de la vidange, l'outil est introduit dans la couche de boues et les matières sont entraînées par le mouvement circulaire des lames coupantes, placées à la base de la tarière. Elles sont ensuite hissées le long du tube, par la vis sans fin, jusqu'à atteindre le coude de dérivation qui les expulse vers un récipient collecteur placé au sol. Avec un poids de 20 à 40 kg, les tarières motorisées peuvent être manipulées par un seul opérateur. Cet équipement permet de pomper des boues présentant une consistance pâteuse à semi-solide et peut admettre de petites quantités de débris solides non-biodégradables (De los Reyes, 2012). Les prototypes les plus récents sont dotés d'une marche arrière pour faciliter l'évacuation des déchets en cas de blocage. Des coûts de construction d'environ 700 USD sont relevés, mais aucune donnée n'est encore disponible sur les coûts de fonctionnement.

Les difficultés suivantes ont été relevées lors de l'utilisation de tarières motorisées (Still et O'Riordan, 2012 ; Still et Foxon, 2012) :

- Complexité du processus de vidange, du fait de la rigidité de la tarière et du tuyau ;
- Incapacité à vidanger les boues sèches ou de trop grandes quantités de débris non-biodégradables ;
- Nettoyage compliqué à l'issue des opérations ;
- Difficultés à manœuvrer l'outil compte tenu de son poids et de sa taille.

4.6.4 Le Gobbler

Développé par la Commission de recherches sur l'eau sud-africaine (*South African Water Research Commission, WRC*) en 2009, le Gobbler est une version motorisée du Nibbler, plus efficace et plus robuste. Un moteur électrique entraîne une transmission à double chaîne qui anime

une chaîne de plus gros calibre que celle du Nibbler. Les demi-disques métalliques utilisés par le Nibbler pour entraîner les boues sont remplacés par des coupelles métalliques, et un racloir est placé au point de décharge (Still et O’Riordan, 2012).

Pendant les tests, le blocage des chaînes de transmission est ressorti comme particulièrement problématique (Still et O’Riordan, 2012 ; Still et Foxon, 2012). D’autres problèmes ont été relevés pour la fabrication et l’utilisation de cet outil (Still et O’Riordan, 2012) :

- Un procédé de fabrication fastidieux, avec un grand nombre de pièces ;
- Transport et installation de la pompe compliqués, du fait de son poids élevé ;
- Difficultés à vidanger les fosses de différentes profondeurs, puisque la taille de l’outil n’est pas ajustable.

Le coût estimatif du prototype du Gobbler était de 1 200 USD environ. À l’instar du Nibbler, son développement n’a pas été poursuivi compte tenu des difficultés relevées au cours de la phase de test (Still et Foxon, 2012).

4.6.5 Véhicules équipés de pompes à vide

Les pompes à vide sont des équipements de vidange largement éprouvés. Ces pompes peuvent être montées sur des poids lourds, des remorques, des chariots légers ou encore sur des charrettes à bras lorsqu’il faut vidanger de faibles volumes ou desservir des zones urbaines denses inaccessibles aux camions. Le plus souvent, les pompes à vide sont actionnées par l’arbre de transmission d’un camion, mais il arrive aussi qu’elles soient reliées à un moteur auxiliaire indépendant. Il existe des véhicules de tailles et modèles variés qui permettent de répondre aux différents besoins, avec des volumes de citerne allant de 200 L à 16 m³. Les paragraphes suivants passent en revue plusieurs systèmes.

Camions de vidange classiques

Les pompes à vide sont dimensionnées en fonction de la hauteur d’aspiration, de la distance de pompage, des volumes de boues à vidanger et du volume du réservoir. Lors de la conception des services de vidange, les fabricants locaux devraient être consultés pour savoir quels équipements sont disponibles. Les spécifications techniques des camions doivent être vérifiées pour confirmer que le modèle proposé répond bien aux besoins.

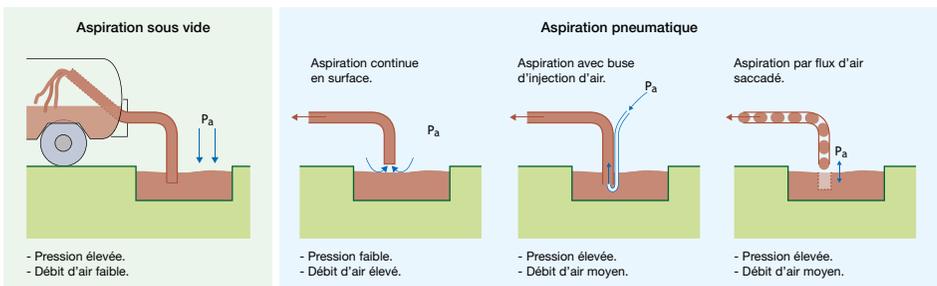


Figure 4.9 : Quatre techniques d’aspiration des boues par le vide (adapté d’après Boesch et Schertenleib, 1985).

Généralement, les citernes des camions vidangeurs ont une capacité comprise entre 2 et 16 m³. Plusieurs paramètres sont pris en compte par les vidangeurs pour choisir un camion, notamment :

- Le volume moyen des fosses septiques ou simples à vidanger ;
- Les contraintes d'accès à la voirie, en termes de largeur et de charge ;
- La distance jusqu'à l'unité de traitement ;
- La disponibilité ;
- Le prix d'achat ;
- Le niveau de technicité des opérateurs.

En général, les camions vidangeurs sont équipés soit de pompes à palettes de faible volume, qui sont relativement bon marché, soit de pompes à anneau liquide qui sont plus coûteuses. Le premier type de pompe est plus indiqué pour les camions de faible capacité, qui opèrent sous un vide poussé mais avec un flux d'air faible. Les techniques d'aspiration sous vide fonctionnent mieux pour pomper les boues de faible viscosité comme celles des fosses septiques (Boesch et Schertenleib, 1985).

Les pompes à anneau liquide sont plus adaptées aux camions de grande capacité recourant à des techniques d'aspiration pneumatique. Trois de ces techniques, à savoir l'aspiration continue en surface, l'aspiration avec buse d'injection d'air et l'aspiration par flux d'air saccadé, sont décrites brièvement par la figure 4.9. Ces techniques sont plus indiquées pour le pompage de boues dont la viscosité est élevée, telles que celles accumulées au fond des fosses septiques ou dans les latrines à fosse unique.

Certains camions vidangeurs sont également dotés d'équipements de déshydratation qui permettent de réduire le volume des boues à transporter et d'accroître l'efficacité des opérations. Pour fonctionner, ces engins nécessitent des points de déversement (un réseau d'assainissement en général) afin de recueillir les fractions liquides non-traitées. L'inconvénient majeur de ce matériel sophistiqué est la complexité de sa maintenance, aussi bien en termes de technicité que d'approvisionnement en pièces détachées.

BREVAC

En 1983 au Botswana, le Centre international de référence pour l'élimination des déchets (*International Reference Centre for Waste Disposal*, IRCWD) a conduit une série d'essais de terrain avec plusieurs modèles de camions vidangeurs, certains classiques et d'autres plus spécifiques, ainsi que divers équipements de vidange mécaniques. Développé par l'Établissement de recherches en bâtiment (*Building Research Establishment*, BRE), le BREVAC a fait partie des camions spécifiques testés (figure 4.10).

Le BREVAC dispose d'un réservoir divisé en deux compartiments. D'un volume de 4,3 m³, le premier compartiment sert à stocker les boues, tandis que le second, d'un mètre cube, contient l'eau pour l'opération (Boesch et Schertenleib, 1985). Le camion dispose d'une pompe à vide à anneau liquide très performante, avec une capacité d'aspiration de 0,8 bar pour un débit d'air de 26 m³/minute. Enfin, un vérin hydraulique permet d'incliner la citerne afin de faciliter son nettoyage après déversement.

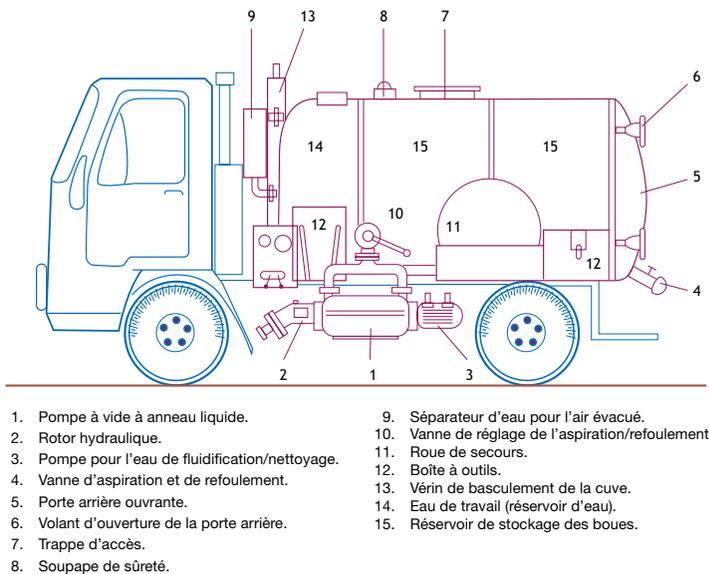


Figure 4.10 : Représentation schématique du BREVAC (adapté de Boesch et Schertenleib, 1985).

Les essais ont conclu que le BREVAC permettait de vidanger les boues très visqueuses des latrines à fosse simple, savait manœuvrer dans les espaces exigus et circuler sur des terrains difficiles (Boesch et Schertenleib, 1985). Son jet d'eau sous pression lui permet aussi de désagréger les blocs de boues et d'éviter ainsi la descente des vidangeurs dans les fosses lors des opérations. Certains éléments restent à améliorer (comme l'ajout d'une jauge à billes flottante pour relever le niveau de boue) et des problèmes de colmatage des tuyaux par des débris non-biodégradables ont également été relevés. Néanmoins, cette technologie a été jugée viable et adaptée sur le plan technique.

En raison de sa conception hautement technique et des pièces très spécifiques nécessaires à son bon fonctionnement, mais aussi à cause des coûts très élevés qui en découlent, le BREVAC n'a pas réussi à maintenir une demande suffisante ni sa présence sur ce marché de niche.



Figure 4.11 : Les modèles BREVAC Mark III (à gauche) et Mark IV (à droite) conçus pour la collecte et le transport des boues (photo : Peter Edwards).

Vacutug

En 1995, l'ONU-HABITAT a développé le Vacutug en tenant compte des leçons apprises à l'issue des essais conduits par l'IRCWD sur le BREVAC et le MAPET. La première version, Mark I, a été développée en Irlande par Manus Coffey et associés (MCA), puis testée au Kenya par l'Organisation nationale pour l'eau et la santé (*Kenya Water and Health Organisation*, KWAHO). Depuis, quatre autres versions ont été développées au Bangladesh et plusieurs unités de chacune ont été vendues. Les exemples sont présentés dans la figure 4.11 et dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Caractéristiques générales des différentes versions du Vacutug.

VERSION	CAPACITÉ (litres)	LARGEUR INDICATIVE	DISTANCE DE TRANSPORT	MONTAGE ET PROPULSION	COÛT (USD) (hors frais de transport)
Mark I et II	500	Très réduite	Courte	Monté sur châssis motorisé.	10 000
Mark III	1 900	Moyenne	Longue	Monté sur remorque et tracté par tracteur ou pick-up.	20 000
Mark IV	700	Réduite	Intermédiaire	Monté sur le châssis d'un tricycle motorisé.	15 000
Mark V	1 000	Réduite	Intermédiaire	Monté sur le châssis d'un tricycle motorisé.	15 000

4.6.6 Étapes d'une vidange par véhicule équipé de pompe à vide

Les unités de pompage à vide utilisées pour la vidange sont des systèmes mécaniques complexes, qui doivent être correctement utilisés non seulement pour bien réaliser les vidanges, mais aussi afin de protéger les équipements et les vidangeurs.

Les opérations de vidange, à l'aide d'unités d'aspiration à vide, doivent suivre les étapes suivantes :

1. Stationner le camion le plus près possible du dispositif à vidanger. La distance de pompage maximale est déterminée d'une part par la longueur du tuyau, et d'autre part par la différence de niveau entre le fond de la fosse à vidanger et l'entrée du réservoir. En général, la distance de pompage doit être inférieure à 25 mètres linéaires, et la différence de niveau inférieure à 4 mètres. Au-delà, des pompes intermédiaires doivent être utilisées.
2. Informer les ménages de la venue prochaine du service et noter toutes difficultés ou problèmes éventuels.
3. Inspecter le site pour relever les aspects critiques à prendre en compte, tels que la nécessité d'évacuer les personnes lors des opérations ou la présence d'une nappe d'eau affleurante qui pourrait entraîner la flottation de la fosse une fois celle-ci vidée.
4. Bloquer les roues du camion avec des cales.
5. Dérouler, puis raccorder les tuyaux depuis le camion jusqu'à la fosse à vidanger.
6. Soulever les trappes d'accès ou les couvercles afin d'ouvrir la fosse.

7. Démarrer l'unité de pompage sous vide avec la prise de force du camion.
8. Pousser le vide jusqu'à atteindre un bon niveau, en maintenant la vanne fermée tout en vérifiant la jauge d'aspiration. Introduire ensuite l'extrémité du tuyau dans la fosse et ouvrir suffisamment la vanne pour que les boues soient aspirées. La fermeture de la vanne permet de rétablir le vide et de poursuivre le pompage des boues.
9. Continuer à procéder de la sorte jusqu'à ce que les opérations soient terminées.
10. Désagréger les boues agglomérées, soit à l'aide d'une pelle montée sur un manche allongé, en ajoutant de l'eau si nécessaire pour réduire la viscosité des boues, soit en inversant le flux de pompage depuis la cuve du camion pour mettre en suspension les boues décantées en fond de fosse grâce à la pression du flux de boues déversées. Rétablir enfin l'aspiration pour aspirer le contenu de la fosse. Les tuyaux flexibles doivent être en bon état et leurs accouplements solidement fixés pour pouvoir recourir à cette méthode.
11. Les vidangeurs devraient pouvoir retirer entre 90 et 95 % du contenu initial de la fosse. Les gestionnaires des services de vidange doivent procéder à des contrôles périodiques.
12. Relever toute anomalie, telle qu'une concentration élevée en déchets non-biodégradables, d'huiles ou de graisses. La couleur et l'odeur des boues peuvent renseigner sur la façon dont les ménages utilisent leur fosse, et indiquer si trop de produits chimiques sont déversés dans les canalisations.
13. Si le dispositif vidangé est une fosse septique, les vérifications suivantes doivent être effectuées par les vidangeurs :
 - a. Écouter si de l'eau remonte par les tuyaux de refoulement du dispositif. Cette observation peut indiquer que des canalisations sont bouchées ;
 - b. Vérifier que les tés d'entrée et de sortie sont bien installés. Ces accessoires sont souvent détériorés et se retrouvent au fond de la fosse ;
 - c. Vérifier que la fosse ne présente pas de parties fissurées ou endommagées ;
 - d. Contrôler l'aération de la fosse ;
 - e. S'assurer que les couvercles de la fosse sont convenablement fermés et replacés à la fin du pompage ;
 - f. Établir un rapport écrit mentionnant :
 - la quantité de boues et de déchets vidangés ;
 - l'état de fonctionnement de la fosse septique ou fosse unique ;
 - les opérations de réparation ou de maintenance conseillées ;
 - toute recommandation utile pour une bonne utilisation du dispositif.
14. Déconnecter et enrrouler les tuyaux.
15. Nettoyer les déversements éventuels en utilisant un matériau absorbant.
16. Aviser le client que l'opération est terminée et lui remettre le rapport final. Dans certains cas, le paiement est effectué dès la commande, mais il est fréquent que le vidangeur soit payé après facturation. Au cours de ce dernier échange, l'opérateur partage ses observations et recommandations avec le client.
17. Retirer les cales et se rendre chez le prochain client ou sur le site de déversement le plus proche.

4.6.7 Résumé des systèmes de vidange motorisés

Le tableau 4.3 synthétise les caractéristiques principales des différentes technologies de vidange motorisées présentées dans ce paragraphe en indiquant, pour chacune, ses performances, ses coûts et ses inconvénients.

Tableau 4.3 : Tableau récapitulatif pour les équipements de vidange motorisés.

TYPE D'ÉQUIPEMENT	PERFORMANCES	COÛTS (USD)		DÉFIS
		Achat	Fonctionnement	
Motopompe à membrane	<ul style="list-style-type: none"> Peut vidanger des boues liquides contenant des débris solides d'un diamètre 40 à 60 mm. Débit maximum compris entre 300 et 330 L/min. Hauteur de refoulement maximale de 15 m (peut vidanger facilement à diverses profondeurs). 	2 000	Inconnu	<ul style="list-style-type: none"> Blocages liés à la présence de débris non-biodégradables. Absence de pièces détachées sur le marché local.
Pompe centrifuge à eaux chargées	<ul style="list-style-type: none"> Peut vidanger des boues liquides contenant des débris solides d'un diamètre 20 à 30 mm. Débit maximum de 1 200 L/min environ. Hauteur de refoulement comprise entre 25 et 30 m (peut vidanger facilement à diverses profondeurs). 	500 à 2 000	Inconnu	<ul style="list-style-type: none"> Pièces détachées difficiles à trouver. Nécessite un dispositif de stockage intermédiaire. Blocages potentiels.
Tarière à boues motorisée	<ul style="list-style-type: none"> Peut vidanger des boues liquides et de petites quantités de déchets non-biodégradables. Débites supérieurs à 50 L/min. Hauteur de refoulement de plus de 3 m (difficulté à pomper à différentes profondeurs). 	700	Inconnu	<ul style="list-style-type: none"> Taille fixe de la tarière et du tuyau PVC. Inadapté si les boues sont sèches ou contiennent beaucoup de déchets non-biodégradables. Nettoyage difficile après usage. Manipulation difficile du fait de l'encombrement et du poids de l'outil.
Gobbler	<ul style="list-style-type: none"> Blocage fréquents à cause de l'accumulation de boues dans les zones en mouvement. Hauteur de refoulement de plus de 3 mètres. Difficulté à pomper à différentes profondeurs. 	1 200	Inconnu	<ul style="list-style-type: none"> Fabrication complexe avec un grand nombre de pièces assemblées. Poids élevé de la pompe. Longueur non-ajustable.

<p>Vacutug</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Peut vidanger des boues de viscosité faible et de petites quantités de déchets non-biodégradables. • Idéal pour les zones difficiles d'accès. • La hauteur de refoulement dépend du modèle. 	<p>10 000 à 20 000</p>	<p>25 USD par voyage¹</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Transport souvent lent. • Difficulté à vidanger les boues présentant une forte viscosité. • Faibles volumes (500 à 1 900 litres). • Non-viable financièrement si les distances de transport sont importantes.
<p>Camion de vidange classique</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Peut vidanger facilement des boues de viscosité faible ainsi que certains déchets non-biodégradables. • Idéal pour le transport de gros volumes de boues sur de longues distances. • La hauteur de refoulement dépend du modèle de pompe utilisé. 	<p>10 000 à 100 000²</p>	<p>Très variable</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Accède difficilement aux zones densément peuplées. • Maintenance difficile dans les pays à revenu faible du fait de certaines pièces spécifiques. • Coût d'investissement hors de portée pour certains vidangeurs.

¹ Hypothèse de deux déversements par jour avec une distance de 10 km jusqu'au point de déversement et une vitesse de transport moyenne de 10 km/h (Mikhael et Parkinson, 2011).

² La gamme de prix des camions vidangeurs classiques est très variable selon que le véhicule est neuf ou déjà usagé, de sa capacité, de ses équipements (ex. : jet à haute pression) et des coûts d'expédition.



Figure 4.12 (gauche) : Exemple de bonne pratique où l'assemblage des tuyaux flexibles est aisé et rapide (photo : Linda Strande).



Figure 4.13 (droite) : Exemple d'un système mal entretenu avec des tuyaux assemblés à l'aide de ficelle et de sachets plastiques.

4.7 TRANSPORT DES BOUES DE VIDANGE

La plupart des petits équipements manuels de vidange décrits au paragraphe 4.5, tout comme certains des équipements motorisés décrits au paragraphe 4.6, ne permettent pas de transporter les boues de vidange. Ainsi, les vidangeurs utilisent souvent des moyens de transport à moindre coût, standards ou spécifiques, pour évacuer les boues vers les stations de transfert ou de traitement.

Parmi ces équipements, on peut distinguer ceux qui utilisent la traction/propulsion humaine ou animale et ceux qui sont entraînés par des moteurs thermiques. Ce paragraphe décrit les différents moyens actuellement utilisés, en précisant les avantages et les inconvénients de chacun.

Les aspects à prendre en compte pour le transport des boues de vidange incluent :

- Le type de véhicule à utiliser, en tenant compte de son état technique, de sa maintenance, des licences et des permis nécessaires, ainsi que des points de stationnement quand il n'est pas en service ;
- Le type d'équipement d'extraction des boues, y compris les tuyaux, les pompes, les tarières et tous les autres outils de travail ;
- Le matériel de nettoyage, qui comprend les pelles, les désinfectants, les matériaux absorbants et les sacs poubelles ;
- Les compétences de l'opérateur, notamment les formations et les certifications potentiellement requises pour exercer son activité ;
- Les procédures à suivre, y compris la réglementation de la circulation routière et les activités au niveau du site de traitement ;
- Les autres aspects tels que l'utilisation des stations de transfert, la santé et la sécurité des travailleurs, ainsi que les technologies émergentes.

4.7.1 Transport à propulsion humaine

Divers types de chariots sont utilisés, aussi bien pour le transport de matériel que pour celui des boues de vidange, comme illustré par la figure 4.14. Typiquement, les chariots se composent d'un plateau monté sur un essieu, doté d'une ou de plusieurs roues. Des récipients pouvant contenir jusqu'à 200 litres de boues sont transportés sur ces chariots qui sont tractés ou poussés (Still et Foxon, 2012 ; Strauss et Montangero, 2002 ; Barreiro *et al.*, 2003 ; Chowdhry et Koné, 2012). Les chariots sont conçus pour être manœuvrables dans des espaces étroits et peuvent desservir les ménages de manière efficace sur des distances pouvant aller jusqu'à 3 km.

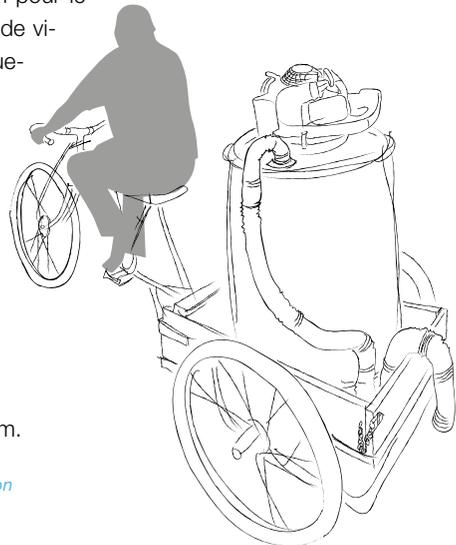


Figure 4.14 : Schéma d'une technologie de transport à traction humaine (figure : Research Triangle Institute).

Du fait de leur faible capacité, de leur rayon d'action réduit et de leur vitesse limitée, ces équipements ne sont pas adaptés pour des transports sur de longues distances.

4.7.2 Transport motorisé

Les moyens de transport motorisés présentent des capacités de charge et des vitesses de déplacement supérieures à celles des transports à propulsion humaine et peuvent donc desservir des périmètres plus étendus (figure 4.15). Si l'exploitation et la maintenance de ces équipements sont généralement plus complexes, leur utilisation est très répandue dans les pays à revenu faible. Lors du choix de ce type d'équipement, il est important de vérifier que les connaissances et les compétences techniques requises pour les réparations sont disponibles localement.



Figure 4.15 : Camion de vidange circulant dans les rues animées de Manille, aux Philippines (photo : David M. Robbins).

Les tricycles à moteur sont les plus petits équipements motorisés à faible coût utilisés par les vidangeurs. Leurs petites dimensions leur permettent de circuler dans les rues étroites auxquelles les véhicules de plus grande capacité ne peuvent accéder. Des modèles de différentes tailles et puissances existent sur le marché, certains pouvant transporter des charges allant jusqu'à 1 000 kg. Les boues peuvent être conditionnées soit dans des fûts chargés sur le plateau du tricycle (O'Riordan, 2009), soit dans un réservoir fixé à l'arrière (figure 4.14).

Des moyens plus coûteux sont également utilisés pour transporter les boues. Dans certains cas, des pick-up pouvant transporter des charges allant de 2 000 à 5 000 kg sont utilisés, avec parfois des systèmes de levage embarqués (Losai Management Limited, 2011). Cependant, ces véhicules ne sont pas toujours à la portée des petits vidangeurs (McBride, 2012a ; Bhagwan et al., 2012).

4.7.3 Déversement des boues en station

De plus en plus de stations de traitement des boues de grande capacité comprennent des unités de dépotage mécanisées. La figure 4.16 montre un opérateur qui connecte le tuyau du camion de vidange au dispositif de dépotage, avant de s'enregistrer électroniquement pour pouvoir déverser ses boues. La station enregistrera alors l'heure et la date du déversement, le volume de boues, le nom de l'opérateur et toute autre information pertinente. Les unités de dépotage mécanisées permettent de réduire les erreurs de saisie, d'accroître la précision de l'exploitation et de responsabiliser davantage les vidangeurs. Si ces unités mécanisées sont utilisées par les opérateurs de grande envergure, les stations de traitement de petite capacité ou de transfert recourent à des techniques manuelles lors des dépotages.

Quel que soit le mode d'amenée des boues à la station de transfert ou de traitement, les vidangeurs adopteront utilement les mesures de sécurité suivantes :

1. S'enregistrer auprès du gardien ou de l'exploitant.
2. Bien suivre les instructions données quant à l'échantillonnage des boues. Certaines stations prévoient des filières différentes pour les boues des ménages et celles issues des établissements commerciaux. Les exploitants de la station peuvent demander des échantillons avant d'autoriser leur déversement s'ils veulent s'assurer que celles-ci ne contiennent pas d'éléments susceptibles d'endommager la station.
3. Amener le camion au point de déversement, le stationner en veillant à maintenir les accès libres, activer les freins de stationnement et bloquer les roues.
4. Connecter les tuyaux.
5. Activer le mécanisme de vidange de la cuve (prise de force ou autre) et déverser les boues.
6. Obtenir les autorisations et les droits d'accès nécessaires avant d'acheminer les boues jusqu'à la station de transfert.
7. S'assurer que suffisamment d'eau est disponible pour le nettoyage des débris solides dans le cas où la station comporte un ouvrage de dégrillage.
8. Disposer les refus du dégrillage dans un endroit sécurisé pour les égoutter et les sécher avant leur stockage et/ou leur mise en décharge selon une procédure adaptée d'incinération ou d'enfouissement.
9. Employer des techniques de lavage adaptées pour le déversement des fûts dans une station de transfert. Veiller à opérer depuis une surface stable et à porter des équipements de protection.
10. Nettoyer les déversements éventuels et bien refermer l'orifice d'admission des boues.
11. Utiliser des équipements de protection tels que des gants, un casque et ne pas fumer lors des opérations de collecte et de déversement des boues.
12. Ranger les tuyaux et les équipements, veiller au respect de l'hygiène (ex. : lavage des mains) et remplir les formalités administratives.



Figure 4.16 : Unité de dépotage mécanisée au niveau de la station d'épuration South Septage de la société Manila Water, à Manille, aux Philippines (photo : WSUP, Sam Parker).

4.8 STATIONS DE TRANSFERT DES BOUES

4.8.1 Introduction

Les paragraphes précédents ont présenté différentes technologies de collecte et de transport des boues de vidange, notamment certains équipements légers utilisés dans les zones inaccessibles aux camions de vidange de grand volume. Cependant, ces équipements ne peuvent être utilisés que sur de courtes distances, leur vitesse étant trop faible pour permettre d'évacuer, de manière économiquement viable, les boues de vidange vers un site de traitement ou de dépôt final.

Face à cette problématique, des approches décentralisées ont été développées pour fractionner le processus de transport en deux étapes, respectivement qualifiées de « transport primaire » et « transport secondaire ». Au niveau du transport primaire, des chariots ou des véhicules de faible capacité acheminent les boues depuis le point de collecte jusqu'à une station de transfert de proximité. Lors du transport secondaire, un équipement de grande capacité, tel qu'un camion de vidange, est utilisé pour vidanger la station de transfert et évacuer les boues vers le site de dépôt final. Ainsi, pour fonctionner convenablement, les stations de transfert doivent être accessibles à l'ensemble des équipements utilisés pour les transports primaire et secondaire.

4.8.2 Les différents types de stations

On distingue deux types de stations de transfert : les stations « fixes » et les stations « mobiles », qui sont décrites dans les paragraphes suivants.

Stations de transfert fixes

On distingue quatre sous-catégories pour ce type de station. Les « cuves de stockage fixes » sont des fosses en béton maçonné, conçues pour stocker les boues de vidange sur une courte durée et sans les traiter. Les cuves enterrées décrites par Boot (2007) à Accra, au Ghana, font partie de cette catégorie. Avec une capacité de 23 m³ environ, ces cuves étaient conçues pour recueillir les boues des vidangeurs manuels (transport primaire) avant d'être vidangées par des camions de vidange (transport secondaire). Cependant, les phénomènes naturels de décantation et d'ensablement observés lorsque les périodes de stockage devenaient trop longues ont rendu la gestion de ces ouvrages très complexe pour les autorités locales. Ainsi, un grand nombre de ces cuves ont été abandonnées, car le coût et la durée des opérations de dessablage qu'elles exigeaient s'avéraient prohibitifs.

Pour pallier le problème d'ensablement, des stations de transfert modulaires ont été développées en utilisant des conteneurs mobiles à la place de la cuve bétonnée. La littérature relève les gammes de capacité suivantes :

- Petite capacité (ex. : fûts métalliques de 200 litres - McBride, 2012b) ;
- Capacité moyenne (ex. : réceptacles en bâche plastique avec armature métallique, de 500 à 3 000 litres) ;
- Grande capacité (ex. : cuves ou bennes métalliques sur mesure > 2 000 m³ - Macleod, 2005 ; Strauss et Montangero, 2002).

Les stations de transfert fixes servent essentiellement d'unités de stockage sécurisées. Leur conception dépend des modèles de réservoirs utilisés pour le stockage. Dans un projet mené au Ghana, les réservoirs étaient placés dans une fosse en béton, construite sur un site clôturé afin de limiter les risques de dégradation, de submersion et de contamination. Une fois pleins, les réservoirs étaient vidangés à l'aide d'un camion de vidange.

Un troisième type de station est le « réservoir fixe multifonction ». En plus du stockage, ces stations peuvent aussi admettre les boues fraîches issues de toilettes publiques et/ou assurer un traitement partiel des boues. Dans ce dernier cas, des procédés de déshydratation (bassins de décantation, lits de séchage, sacs géotextiles - ERE Consulting Group et Indah Water Konsortium, 2012) ou de digestion anaérobie (ex. : fosses septiques, réacteurs anaérobies à chicanes, réacteurs à biogaz) sont mis en place. Les stations qui combinent toilettes publiques et traitement des boues de vidange présentent l'avantage d'être bien acceptées par les riverains et permettent de réduire les charges de transport secondaire, grâce à la déshydratation des boues. De plus, les sous-produits issus du traitement (ex. : digestat ou biogaz) peuvent être valorisés après traitement complémentaire. L'étude de cas 4.2 présente un exemple de station pouvant admettre des boues fraîches.

Le quatrième type de station de transfert fixe est le type « connecté au réseau d'égout ». Ces stations sont, directement ou indirectement, connectées au réseau d'égout existant, lequel assure le transport secondaire des boues de vidange et/ou de leurs résidus liquides. Les services publics et les propriétaires de réseaux dissuadent à juste titre les vidangeurs de déverser les boues dans les regards de visite. En effet, du fait de la faible teneur en eau des boues de vidange, ces pratiques risquent de colmater le réseau, mais aussi d'entraîner des charges en DBO dépassant les capacités des stations de traitement des eaux usées (voir chapitre 9). Néanmoins, le déversement illégal dans les réseaux d'égouts est une pratique assez répandue du fait du manque d'infrastructures adaptées ou de leur manque d'accessibilité.

Stations de transfert mobiles

Les stations de transfert mobiles sont des réservoirs facilement transportables qui permettent le stockage des boues depuis n'importe quel point à proximité du dispositif vidangé. Ce sont, essentiellement, des réservoirs montés sur un châssis roulant. Ces stations peuvent être des véhicules motorisés ou bien des cuves montées sur des remorques tractées à l'aide d'un camion ou d'un tracteur.

Les stations mobiles sont utilisées dans les zones qui nécessitent une multitude de transports de petite capacité. L'avantage principal de ces stations est qu'elles permettent de contourner les

procédures complexes et souvent longues que nécessite la construction de stations fixes dans les quartiers de forte densité. Enfin, lorsque leurs cuves sont pleines, ces stations peuvent être utilisées pour le transport secondaire des boues vers le site de mise en dépôt final.

Lorsque le système est tracté, le véhicule tracteur peut être utilisé pour d'autres services, liés ou non à la gestion des boues de vidange. Ceci permet des économies et une amélioration potentielle des revenus. L'utilisation de ce type de système a été documentée à Maseru, au Lesotho (Strauss et Montangero, 2002).

4.8.3 Choix de l'emplacement des stations de transfert

La mise en place d'une filière de transport des boues de vidange segmentée requiert une implantation des stations de transfert soigneusement planifiée. Le paragraphe suivant souligne les principaux aspects à prendre en compte dans ce sens.

Optimiser la zone de couverture

La zone de couverture des stations de transfert doit être suffisante pour répondre aux besoins des services de vidange de petite capacité, tout en permettant de minimiser les coûts de transport primaire. En pratique, les coûts de transport primaire et secondaire doivent être pris en compte pour établir convenablement la couverture des stations de transfert, leur dimensionnement et leurs distances respectives. L'utilisation provisoire de stations mobiles peut aider à développer une couverture optimale, en permettant d'évaluer l'adéquation des emplacements potentiels sur une certaine durée, sans s'engager dans la construction d'une station fixe.

Disponibilité des terrains

Les démarches relatives à la recherche de terrains et à l'obtention des autorisations requises pour implanter une station de transfert peuvent s'avérer longues et difficiles. Parfois, de longues négociations avec de multiples organismes gouvernementaux et propriétaires fonciers sont nécessaires, en particulier dans les quartiers informels. Du fait de leur caractère provisoire, les stations de transfert mobiles peuvent, *a priori*, faciliter ces aspects. À défaut, des stations de transfert modulaires minimisant l'impact vis-à-vis du voisinage peuvent être envisagées. Cependant, sans les garanties juridiques requises, des propriétaires fonciers insatisfaits pourraient obliger les opérateurs à déplacer ces stations.

Acceptation

Il n'est pas rare de voir les ménages s'opposer à l'implantation d'une station de transfert près de leurs habitations. Désignée comme le syndrome du « pas à côté de chez moi », cette réaction peut être particulièrement délicate dans les quartiers informels densément peuplés, où il existe très peu de terrains disponibles, voire aucun. Ces types de refus ont été relevés à Dar es Salam en Tanzanie (Muller et Rijnsburger, 1992), à Maputo au Mozambique (Godfrey, 2012) et à Freetown en Sierra Leone. L'implication des communautés en amont du processus d'implantation est nécessaire. Des mesures incitatives, telles que la combinaison de stations de transfert avec d'autres installations, comme les toilettes et douches publiques, peuvent aider à améliorer le niveau d'acceptation.

Accessibilité

Selon les cas, les stations de transfert doivent être accessibles aux véhicules de transport primaire et secondaire ou au réseau d'égout pour pouvoir fonctionner. Par exemple, si l'aménagement d'une station de transfert au milieu d'un quartier populaire dense permet de réduire les distances de transport primaire, il se peut que cet emplacement ne soit pas accessible aux véhicules de plus grande capacité, utilisés pour le transport secondaire. Il faut donc veiller à sélectionner des sites accessibles aux véhicules de transport secondaire.

Étude de cas 4.2 : Station de transfert modulaire multifonction de grande capacité.

En Sierra Leone, GOAL a construit une station de transfert composée d'un conteneur maritime de 6 m³ placé au-dessus d'un conteneur citerne récupéré de 6 m³ (figure 4.17). Après aménagement, le conteneur supérieur dispose d'un point de déversement des boues de vidange, ainsi que de deux toilettes publiques pour hommes et femmes. Les boues sont apportées dans des fûts scellés de 60 L, puis déversées sur dégrilleur connecté au conteneur citerne. L'ensemble du dispositif est mobile, les deux conteneurs pouvant, si nécessaire, être démontés, soulevés à l'aide d'une grue et transportés par camion vers un autre endroit.

La station est alimentée en eau par le réseau via un réservoir de stockage en PVC afin de permettre le nettoyage des fûts vidés, le fonctionnement de la chasse d'eau manuelle des toilettes ainsi que celui des lave-mains. Les eaux noires issues des toilettes sont canalisées dans le réservoir de stockage, tandis que les eaux de lavage sont infiltrées au niveau d'un puisard situé à proximité. L'accès aux installations se fait via un escalier et une passerelle, dispositifs qui limitent malheureusement l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite.

Emplacement de la station

Un site approprié a été retenu sur un terrain privé, étant convenu que la station pourrait être déplacée selon les nécessités. L'obtention des autorisations auprès des autorités locales s'est avérée beaucoup plus simple que s'il s'était agi d'une station fixe, et ce grâce au caractère mobile de l'équipement. Par ailleurs, l'acceptation de la station par le voisinage a été facilitée par l'intégration de toilettes publiques, équipements très demandés dans la zone. Il n'a pas encore été indiqué si l'emplacement était optimal ou non pour les vidangeurs et les opérations de transport secondaire.

Performances

En 2012, la station n'était pas encore fonctionnelle et son système de gestion encore en réflexion. Aussi, s'il est difficile d'évaluer ses performances à ce stade, les défis potentiels suivants sont identifiés :

- L'éventualité que le propriétaire du terrain demande que la station soit déplacée hors de son terrain, ce qui nécessiterait de reprendre tout le processus d'implantation depuis le début ;
- Le risque sanitaire lié à l'exposition des usagers des toilettes publiques, compte tenu de la proximité du point de déversement ;
- La difficulté de hisser les fûts de 60 litres en haut des escaliers menant au point de déversement ;
- La vitesse d'ensablement et les besoins de curage y afférant ;
- L'impact financier, potentiellement important, du stockage des eaux noires de toilettes dans le réservoir de boues.

Certaines de ces problématiques pourront être résolues par la mise en place d'une rampe permettant de faire rouler les fûts jusqu'au point de déversement et en ajoutant des dispositifs de déshydratation des boues.



Figure 4.17 : Station de transfert modulaire multifonction de grande capacité et toilettes publiques (photo : GOAL).

4.9 SÉCURITÉ ET PROTECTION DE LA SANTÉ

La collecte, le transport et le déversement des boues de vidange présentent de nombreux risques en matière de santé et de sécurité. Malheureusement, la majorité des vidangeurs s'en tiennent à des pratiques à risques dans les pays à revenu faible, en particulier lors des vidanges effectuées à la main ou avec très peu d'équipements. Les vidangeurs s'exposent alors à des risques physiques, chimiques et biologiques élevés. Ce paragraphe présente un bref aperçu des principaux risques liés aux opérations de vidange et de transport des boues ainsi que des mesures permettant de les atténuer. D'autres informations sur la santé et la sécurité sont présentées au chapitre 11.

4.9.1 Risques physiques

La manipulation des boues de vidange expose les vidangeurs aux risques physiques suivants :

- Éboulement des parois d'une fosse non-maçonnée lors de l'extraction des boues (en particulier lors des vidanges manuelles) si la cohésion du sol est faible ;
- Glissades, trébuchements et chutes ;
- Exposition à des objets piquants ou tranchants contenus dans les boues (ex. : verre ou métaux) ;
- Port de charges lourdes (ex. : couvercles des fosses ou fûts remplis de boues) ;
- Accidents de la route (notamment lors des transports).

4.9.2 Risques chimiques

Les risques chimiques suivants sont relevés :

- Exposition orale, nasale et cutanée directe ou indirecte à des produits chimiques (ex. : hydrocarbures qui sont parfois déversés dans les fosses pour couvrir les odeurs, bien que cette pratique ne soit pas recommandée) ;
- Travail dans des espaces confinés en présence de gaz nocifs (ex. : méthane, dioxyde de soufre) ou dans des atmosphères appauvries en oxygène (en particulier lors des vidanges manuelles).

4.9.3 Risques biologiques

Les risques biologiques suivants doivent être pris en compte : exposition orale, nasale et cutanée directe ou indirecte à de multiples germes pathogènes contenus dans les boues (ex. : bactéries, virus, protozoaires ou helminthes). Consulter le chapitre 2 pour plus d'informations.

4.9.4 Autres risques

Prise d'alcool très répandue chez les vidangeurs (Godfrey, 2012 ; Mikhael, 2011).

4.9.5 Réduction des risques

Des mesures de réduction des risques peuvent être adoptées de manière volontaire par les vidangeurs ou via la mise en place d'une réglementation, en supposant que des mesures effectives soient alors prises pour assurer leur mise en application.

Limiter l'exposition aux risques précédents est la plus importante des mesures à prendre. En pratique, il s'agira de :

- Fournir et porter des équipements de protection individuelle adéquats pour éviter le contact direct ou indirect avec les boues de vidange (ex. : gants, combinaisons, bottes en caoutchouc avec semelles métalliques, lunettes de sécurité et masques respiratoires) ;
- Élaborer et dispenser des formations sur l'utilisation d'outils permettant d'éviter le contact avec les boues, en tenant compte des conditions et des dispositifs d'assainissement rencontrés localement ;
- Dispenser des formations sur les procédures de vidange à suivre en indiquant bien quels sont les équipements de protection individuelle, les outils et les équipements à utiliser.

Enfin, des traitements préventifs tels que la vaccination et le déparasitage des travailleurs sont recommandés, tout particulièrement pour les vidangeurs manuels qui évoluent vers des pratiques plus adéquates.

4.10 CONCLUSION

Si de nombreux progrès ont été réalisés dans l'amélioration des pratiques de collecte et de transport des boues de vidange, des lacunes importantes persistent et soulignent la nécessité de poursuivre le développement de solutions innovantes et pratiques.

Les difficultés rencontrées lors de la vidange des dispositifs d'assainissement des ménages sont, en grande partie, liées ou influencées par la conception même de ces dispositifs. À titre d'exemple, une fosse septique éloignée de la route, complique l'accès des camions de vidange. On relève également que les dispositifs à chasse permettent une vidange plus simple et plus efficace, puisqu'ils contiennent moins de débris non-biodégradables (tels que les ordures ménagères, les serviettes hygiéniques, les chiffons et les tissus), ce qui limite les risques de colmatage lors de l'extraction des boues.

Pour rendre les services de vidange plus efficaces et performants, les innovations à développer doivent intégrer des solutions permettant d'améliorer les fosses existantes et proposer de nouvelles conceptions pour les modèles à venir. Pour réussir, la diffusion de nouvelles technologies requiert une approche multidisciplinaire qui doit impliquer des spécialistes de l'assainissement, des ingénieurs designers, des professionnels en promotion et marketing, ainsi que des maçons et des juristes.

Des recommandations techniques ont été formulées pour améliorer les dispositifs d'assainissement des ménages et faciliter leur vidange. L'une d'entre elles consiste à équiper les latrines d'un tuyau pour pouvoir aspirer les boues depuis le fond de la fosse (Coffey, 2007). L'injection d'air et d'eau à faibles pressions par ce tuyau permettra de fluidifier les boues avant de les extraire en commençant par le fond, où s'accumulent les boues les plus denses, et d'achever par les boues de surface, plus faciles à pomper. D'après les études de Hawkins (1982), un ajout d'eau de 2 % aux boues permettrait d'augmenter de 30 à 300 fois leur fluidité. Bien que les premiers tests aient enregistré des retours prometteurs, cette conception n'a encore jamais été promue ou adoptée à grande échelle.

Une autre méthode innovante en cours de développement est l'« Omni Ingestor », développé avec l'appui de la Fondation Bill et Melinda Gates. Cette technologie devrait permettre de séparer l'eau, les sables et les déchets contenus dans les boues de vidange et de désinfecter les sous-produits obtenus, et ce directement dans le camion de vidange. Ceci permettra de réduire la logistique de transport vers les stations de traitement, étape qui représente souvent l'essentiel des charges de fonctionnement. Introduites dans le cadre de programmes communautaires de gestion des boues de vidange, ces technologies ouvriront des perspectives nouvelles pour améliorer l'assainissement à grande échelle, tout en tenant compte de la santé et de la sécurité des vidangeurs.

4.11 BIBLIOGRAPHIE

- Barreiro W.C., Strauss M., Steiner M., Mensah A., Jeuland M., Bolomey S., Koné D. (2003). *Urban Excreta Management - Situation, Challenges, and Promising Solutions*. In IWA Asia-Pacific Regional Conference.
- Bhagwan J., Wall K., Kirwan F., Ive O.M., Birkholtz W., Shaylor E., Lupuwana N. (2012). *Demonstrating the Effectiveness of Social Franchising Principles: The Emptying of Household VIPs, a Case Study from Govan Mbeki Village*.
- Boesch A., Schertenleib R. (1985). *Emptying On-site Excreta Disposal Systems: Field Tests with Mechanized Equipment in Gaborone (Botswana)*. International Reference Centre for Waste Disposal (IRCWD) report no. 03/85 [aujourd'hui Eawag-Sandec]. Dübendorf, Switzerland.
- Boot N.L.D. (2007). *Talking Crap: Faecal Sludge Management in Accra, Ghana*. Water, Engineering and Development Centre (WEDC). Loughborough, UK: Loughborough University.
- BPD (2005). *Sanitation Partnerships: Dar es Salaam Case Study*. Dar es Salaam, Tanzania: Building Partnerships for Development.
- Brikké F., Bredero M. (2003). *Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation*. Report for World Health Organization and IRC Water and Sanitation Centre, Geneva, Switzerland.
- Buckley C., Foxon K.M., Brouckaert C.J., Rodda N., Nwaneri C., Balboni E., Couderc A., Magagna D. (2008). *Scientific Support for Design and Operation of Ventilated Improved Pit Latrines and the Efficacy of Pit Latrine Additives*. University of KwaZulu-Natal, Pollution Research Group, School of Chemical Engineering. Gezina: Water Research Commission, South Africa.
- Chowdhry S., Koné D. (2012). *Business Analysis of Faecal Sludge Management: Emptying and Transportation Services in Africa and Asia*. Seattle: The Bill & Melinda Gates Foundation.
- Coffey M. (2007). *Propose and Test Pit Latrine Designs for Effective Emptying by Mechanical Exhauster*. Ireland: Manus Coffey Associates.
- De los Reyes F. (2012). *Hygienic Pit Emptying with Low Cost Auger Pump*. North Carolina State University, USA.
- ERE Consulting Group and Indah Water Konsortium (2012). *Landscape Analysis and Business Model Assessment in Faecal Sludge Management: Extraction and Transportation Model in Malaysia*. Seattle: The Bill & Melinda Gates Foundation.

- Godfrey A. (2012). *Faecal Sludge Management Demonstration Project in Maxaquene A and B, Maputo, Mozambique*. Maputo: WSUP.
- GRET Cambodia. (2011). *Landscape Analysis and Business Model Assessment in Faecal Sludge Management: Extraction & Transportation Models - Cambodia, Volume 1 - Main Report*. Phnom Penh, Cambodia: Bill & Melinda Gates Foundation.
- Hawkins P.M. (1982). *Emptying On-site Excreta Disposal Systems in Developing Countries: An Evaluation of the Problems*. IRCWD News (17), p.1-9.
- IDEO (2012). *Clean Team Brand Guide*. San Francisco, California: IDEO.org.
- Losai Management Limited (2011). *Landscape Analysis and Business Model Assessment in Fecal Sludge Management: Extraction and Transportation Models in Africa*. Seattle: The Bill & Melinda Gates Foundation.
- Macleod N.A. (2005). *The Provision of Sustainable Sanitation Services to Peri-urban and Rural Communities in the eThekweni (Durban) Municipality*. South Africa.
- MCA (2007). *Operating and Maintenance Manual for UN-HABITAT MK III Vacutug Latrine Emptying Vehicle*. Dublin, Ireland: Manus Coffey and Associates.
- McBride A. (2012a). *A Portable Pit Latrine Emptying Machine - The eVac*. Pietermaritzburg, South Africa: PID, EWB-UK, WfP.
- McBride A. (2012b). *The eVac in Malawi*. Blantyre, Malawi: PID, EWB-UK.
- Mikhael G. (2011). *Assessment of Faecal Sludge Emptying Services - Freetown, Sierra Leone*. Freetown, Sierra Leone: GOAL Sierra Leone.
- Mikhael G., Parkinson J. (2011). *Assessment of Financial Costs of Sludge Emptying Vacutug Services in Dhaka, Bangladesh (Unpublished)*. London, UK: Water and Sanitation for the Urban Poor (WSUP) and International Water Association (IWA).
- MSF (2010). *Public Health Engineering in Precarious Situations*. Médecins Sans Frontières (MSF).
- Muller M.S., Rijnsburger J. (1992). *MAPET: A Neighbourhood-based Pit Emptying Service with Locally Manufactured Handpump Equipment in Dar es Salaam, Tanzania*. Gouda, The Netherlands: WASTE Consultants.
- O'Riordan M. (2009). *Management of Sludge Accumulation in VIP Latrines Investigation into Methods of Pit Latrine Emptying*. Water Research Commission (WRC) Project 1745. Partners in Development (Pty) Ltd. South Africa.
- Still D., Foxon K. (2012). *Tackling the Challenges of Full Pit Latrines Volume 1: Understanding Sludge Accumulation in VIPs and Strategies for Emptying Full Pits*. Gezina: Water Research Commission, South Africa.
- Still D., O'Riordan M. (2012). *Tackling the Challenges of Full Pit Latrines Volume 3: The Development of Pit Emptying Technologies*. Gezina: Water Research Commission, South Africa.
- Strauss M., Montangero A. (2002). *Faecal Sludge Management - Review of Practices, Problems and Initiatives*. Eawag-Sandec. Dübendorf, Suisse.
- Tilley E., Ulrich L., Lüthi C., Reymond P., Schertenleib R., Zurbrugg C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd Revised Edition. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland. Édition française (2016) disponible sur www.sandec.ch/compendium_fr
- WASTE Consultants. (1993). *Summary of the Comparative Study on Pit Emptying Technologies (COMPET)*. Dar es Salaam, Tanzania: WASTE Consultants.

Questions pour l'autoévaluation

1. Citer quatre techniques manuelles de collecte des boues et décrire leur fonctionnement.
2. Quels sont les problèmes techniques fréquemment relevés lors de l'utilisation de la pompe Gulper ?
3. Expliquer ce qu'est une station de transfert et en décrire deux types différents.
4. Citer trois types de risques liés à la collecte et au transport des boues de vidange et indiquer les dispositions à prendre pour les atténuer.